

МАШИНОЗНАВСТВО. ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.914

Г.М. Виговський, к.т.н., доц.

О.А. Громовий, к.т.н.

В.В. Ковальов, ст. викл.

Житомирський державний технологічний університет

ВИСОКОПРОДУКТИВНЕ ЧОРНОВЕ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ ДЕТАЛЕЙ

Розглянуті сучасні конструкції свердел для чорнової обробки деталей. Виконано аналіз працездатності різних конструкцій свердел і на його основі запропонована класифікація інструмента та розроблено ряд нових високопродуктивних конструкцій свердел.

В умовах верстатобудівельного підприємства ВАТ "Верстатуніверсалмаш" (м. Житомир) для виготовлення отворів в корпусних деталях діаметром 10...100 мм використовується загальноприйнята технологія з використанням стандартного різального металообробного інструмента. Отвори виконують операціями: свердління, розсвердлювання, розточування, зенкерування, чорнового та чистового розвертування. Для збільшення швидкості різання використовують стандартні гвинтові свердла, зенкери та багатолезові розвертки із твердосплавними напайками.

Виконання операцій для забезпечення необхідної точності отвору та шорсткості поверхні призводить до збільшення штучно-калькуляційного часу обробки деталей, завантаження обладнання та працівників, великих витрат енергоресурсів.

Метою виконаних авторами досліджень, що відповідають пріоритетному напрямку "Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі", є скорочення часу обробки за рахунок використання сучасних методів обробки.

Проаналізуємо дослідження і публікації, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.

Першою операцією в технологічному процесі отримання точних отворів у машинобудуванні є свердління.

Крім звичайних гвинтових свердел у машинобудуванні в останні роки все більшого використання знаходять спеціальні свердла різних конструкцій. Такі свердла частіше дозволяють отримати отвори більш високого квалітету точності та з меншою шорсткістю обробленої поверхні, ніж спіральні свердла. Крім того, у ряді випадків за допомогою нових конструкцій свердел можливо істотно скоротити час обробки отворів [1-17]. Так виготовлена серія свердел для обробки отворів діаметром 5...20 мм та глибиною до 50 діаметрів [1].

Стебло свердла представляє собою стандартну сталю трубку. В стеблі вальцюванням виконані два внутрішні канали для підводу змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) та два зовнішніх – для відводу стружки, стебла підлягають термообробці до 40-48 HRC у спеціальному пристосуванні, що забезпечує їх прямолінійність.

Різальна частина свердла забезпечена пластиною твердого сплаву BK8 або BK6 та розташована в площині, що складає з віссю симетрію профілю перерізу стебла кут 50° . Свердла цієї конструкції оснащені двома твердосплавними направляючими, що знаходяться під кутом 75° до площини різальної пластини. Твердосплавні направляючі забезпечують мінімальне зміщення свердла під час обробки та одночасно згладжує поверхню отвору (рис. 1).

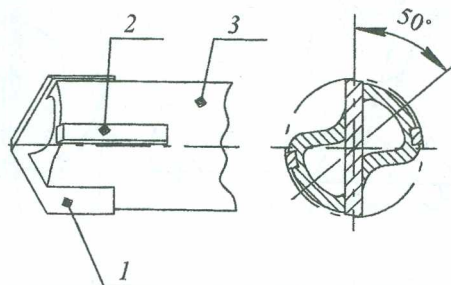


Рис. 1. Свердло з трубчастим стеблом

Після заточування калібруючої смужки різальної пластини мають ширину 0,8 мм. Ширина перемички – 1 мм. Задній кут на всій довжині головних різальних кромки – 18°, а передній дорівнює 10°. Свердла мають зворотну конусність 0,05 мм на довжині різальної та направляючої пластин.

При обробці таким свердлом спеціального легованого чавуну 187...263 НВ на режимах $n = 980 \text{ хв}^{-1}$, $S = 0,14 \text{ мм/об}$ із запровадженням ЗОР сульфозфрезулу відхилення свердла не перевищувало 0,1 мм на довжині 270 мм отвору діаметром 9 мм. Шорсткість поверхні відповідала $R_a = 0,4...0,8 \text{ мкм}$.

За даними роботи [1] стійкість свердел такої конструкції для пластин з твердих сплавів ВК8 та ВК6 відповідала 400 та 600 отворів до перезаточування.

Широкого використання знаходять останнім часом свердла одностороннього різання. В роботі [2] розглянуті свердла наступної конструкції (рис. 2).

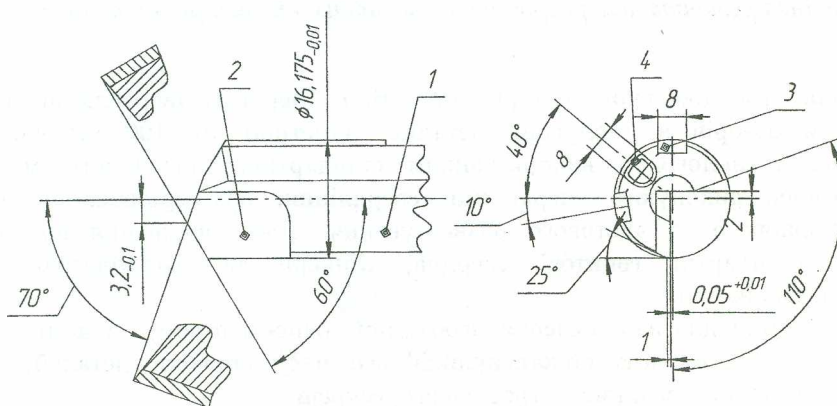


Рис. 2. Свердло зі штучним каналом для підводу ЗОР

Особливістю даної конструкції є наявність каналу з мідної трубки 4. Трубка завальцьовується у паз. Завальцьовка здійснюється спеціальним роликком на горизонтально-фрезерному верстаті в тому ж пристосуванні, де фрезеруються паз під трубку, канавка для відводу стружки та пази під пластини.

Остаточне свердло заточується кругом АСМ10 на бакелітовій основі. При заточуванні контролюють заниження вздовж осі свердла, що дорівнює 0,05...0,06 мм.

За даними роботи [2] свердло такої конструкції використовувалось для обробки отворів діаметром $\varnothing 16,3 \text{ Н11}$ глибиною 220 мм в сталі Х18Н9. При подачах: $S = 0,047...0,058 \text{ мм/об}$ та $n = 1250 \text{ об/хв}$ ($S = 59...73 \text{ мм/хв}$) стійкість свердел складала 100–120 отворів.

Розбивка отворів по діаметру становить 0,05...0,07 мм, відвід осі не перевищує 0,4 мм на довжині 220 мм. На поверхні отвору утворювався наклепаний шар глибиною 0,04...0,05 мм з мікротвердістю вище попередньої в 2–2,5 рази. Шорсткість поверхні $R_a = 0,4...0,8 \text{ мкм}$.

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України розроблена конструкція двоперового свердла для глибоких отворів (рис. 3) з видаленням стружки по внутрішньому осьовому каналу [3].

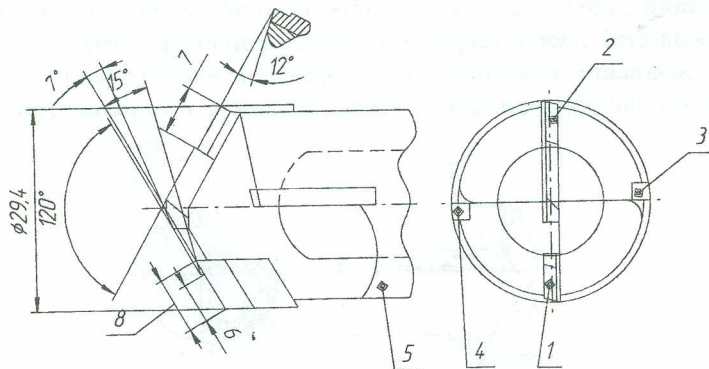


Рис. 3. Свердло з внутрішнім видаленням стружки

Свердло має дві різальні пластини. Пластина 1 – твердий сплав ВК6М; пластина 2 – твердий сплав Т5К10. Пластина 2 по ширині більша, ніж пластина 1. Її ширина приблизно дорівнює 0,6 діаметра свердла, що дозволяє формувати на ній поперечину. Стінка 5, що розділяє пластини, є частиною сталюого корпусу та значно зміцнює робочу частину свердла.

При використанні у якості ЗОР мастильної рідини свердло зберігає високу працездатність на швидкостях $V = 120$ м/хв та подачах $S = 0,25$ мм/об.

Оброблені отвори мають правильну форму, коливання діаметра по довжині отвору знаходиться в межах 0,05 мм. Протягом всього періоду стійкості коливання розміру отвору не перевищує 0,1 мм. Шорсткість обробленої поверхні відповідає $R_a = 0,4...0,8$ мкм. Відхилення осі отвору становить 0,1...0,15 мм на 1000 мм довжині свердління.

На підприємстві ВАТ "Верстатуніверсалмаш" для обробки глибоких отворів використовуються свердла одностороннього різання з внутрішнім видаленням стружки (рис. 4). Ці свердла мають на різальній частині не менше двох (в залежності від діаметра) стружкоподіляючих уступів, які покращують якість обробки та забезпечують отримання транспортабельної стружки. Зміщення вершини свердла відносно його осі не менше 0,1 діаметра свердла, а зміщення передньої поверхні відносно осі не перевищує 0,3–0,5 мм. Стружкоподіляючий уступ на передній поверхні розташовується під кутом 2–3° до різальної кромки, величина цього кута визначається величиною подачі.

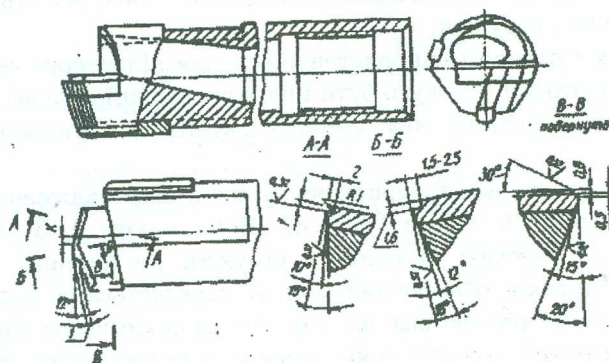


Рис. 4. Свердло одностороннього різання для обробки глибоких отворів

На величину зміщення осі свердла, точності діаметра отвору та шорсткості обробленої поверхні впливає калібруюча стрічка та опорні направляючі свердла. Направляючі виготовляються з твердого сплаву ВК6М. Довжина кожної направляючої не менше половини діаметра свердла, а зворотна конусність не більше 0,02 мм на 100 мм довжини. Діаметр свердла по направляючих дорівнює діаметру по калібруючій стрічці, причому опорна направляюча розташовується в площині, перпендикулярній до передньої поверхні свердла.

При обробці свердлами отворів в деталях із сталей 38Х2МЮА та 45 ($S = 0,15$ мм/об; $V = 45$ м/хв; тиск сульфозрезола 2 МПа) отримали точність обробки за 9–11 квалітетом, шорсткість обробленої поверхні $R_a = 0,8...1,6$ мкм. Відведення осі отвору не перевищувало половини допуску на його розмір; середня стійкість свердла становила 120 хв.

Обробка точних глибоких отворів у заготовках шпинделів верстатів свердлами даної конструкції дозволила виключити частину операцій (чорнове та чистове зенкерування, розточування та розвертування) і застосувати поверхневе дорнування, що дало значний економічний ефект.

Однією з найбільш важливих проблем, пов'язаних з обробкою глибоких отворів, є підвищення технологічної надійності роботи свердлильних головок. Перевірка стану використання свердлильних головок на більшості підприємств машинобудування показує, що їх виготовлення та експлуатація не задовольняють сучасним вимогам.

В БДТУ (м. Петербург) розроблена оригінальна конструкція свердлильної головки зі змінними вставками, для котрої використовується змінний вузол кріплення 1 (рис. 5) різальних елементів та простий трубчастий корпус 2. Це дозволяє змінювати елементи головки або збирати її комбінацією одного корпусу з різноманітними за призначенням комплектами вставок. Посадочна частина виконана конічною, що дозволяє поєднати в одному русі установку вставки в осьовому та радіальному напрямках, знизити трудомісткість виготовлення самого корпусу, а також фігурного каналу для відведення ЗОР та стружки з зони різання.

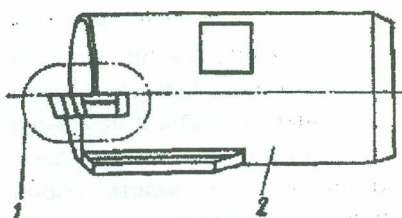


Рис. 5. Свердлильна головка зі змінними різальними вставками

Розроблені конструкції свердлильних головок зі змінними вставками можливо використовувати для суцільного та кільцевого свердління глибоких отворів з різними схемами підводу та відведення ЗОР і стружки.

Вставка з центральним отвором використовується для кільцевого свердління з утворенням центрального стрижня заготовки. Можуть бути інші конструкції вставок. Наприклад, вставку зі ступінчастою схемою заточування лез використовують в основному для виготовлення ежекторних свердел.

На Іванівському заводі важкого верстатобудування впроваджено у виробництво гамму кільцевих свердел діаметром 40–80 мм (рис. 6). Вони мають 2, 3 або 4 різальних зуби в залежності від діаметра і заточені із поділом стружки по ширині. Свердла базуються на циліндричну поверхню оправки, обертаючий момент передається за допомогою двох торцевих шпонок. Додатково свердла фіксуються на оправці за допомогою кріпильного радіального гвинта. Кільцеві свердла мають короткі прямі канавки для видалення стружки із зони різання на довжині зворотного конуса (1:10) робочої частини, тому призначені для свердління неглибоких отворів у чавунних деталях.

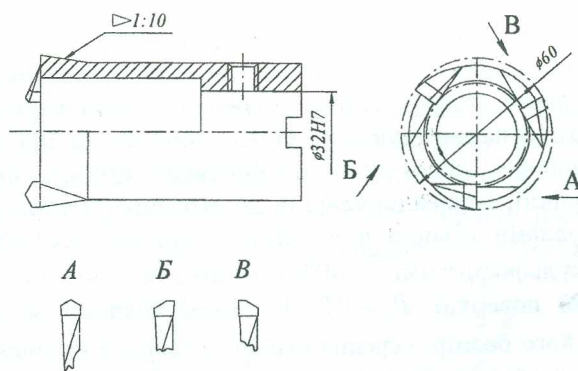


Рис. 6. Кільцеве свердло з поділом стружки

У лабораторії СДТУ (м. Самара) з метою підвищення продуктивності та якості свердління глибоких отворів діаметром більше 60 мм розроблено та впроваджено у виробництво кільцеве свердло з корпусом зі сталі 12ХНЗА (рис. 7). На торці корпусу свердла закріплена твёрдосплавна пластина, а на його боковій поверхні – дві направляючі твёрдосплавні пластини. Таке свердло можна обладнати три- та чотиригранними або ромбічними пластинами твёрдого сплаву різних марок. Конструкція інструмента дозволяє шляхом швидкої заміни пластин пристосувати його для обробки різних матеріалів. При зносі однієї різальної кромки пластина перевертається іншою кромкою, а після повного зносу вона замінюється. Початкова оптимальна

геометрія свердла зберігається. На різьбову частину корпусу накручується порожній хвостовик, куди в процесі різання подається ЗОР.

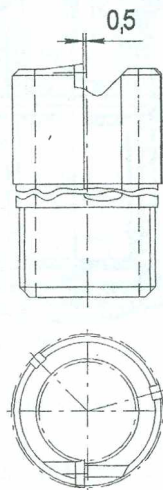


Рис. 7. Кільцеве однокромочне свердло

Під час роботи радіальні складові сили різання сприймаються твердосплавними направляючими. При цьому виникає ефект обкатки обробленої поверхні отвору, що забезпечує формування сприятливого напруженого стану в поверхневому шарі.

Дослідження кільцевого глибокого свердління велися на токарно-револьверному верстаті при обертанні оброблюваної деталі. Матеріал заготовки 30ХГСНА (35-40 HRC). Випробувалися свердла діаметром 63, 69, 75, 102, 125 мм.

Експлуатація кільцевих свердел з непереточуваними пластинами показала, що вони можуть працювати на різних режимах різання, але найліпші результати отримують при швидкості різання 30 м/хв, подачі 0,2 мм/об та глибині різання до 5 мм. А використання пластин зі зносостійким покриттям дозволяє збільшити швидкість до 50 м/хв. Внаслідок великих режимів різання з'являються вібрації, тому обладнання повинно бути жорстким.

ЗОР подавати в зону різання необхідно під тиском 2,5–3 МПа.

Для нормальної роботи даного кільцевого свердла та отримання якісного отвору необхідно перед свердлінням підрізати торець обробленої деталі та підготувати західну канавку шириною 5–10 мм (в залежності від ширини пластини) та діаметром, що дорівнює діаметру свердла. Свердло при роботі підтримується люнетом. Люнет повинен знаходитись у торця заготовки і бути в контакті зі свердлом протягом всього часу обробки.

Стан люнета суттєво впливає на якість отвору, а також на його кінцевий розмір. При наявності великих зазорів в опорних елементах люнета діаметр отвору змінюється вздовж осі деталі.

Практика показала, що кільцеве свердління дозволяє економити електроенергію та оброблюваний матеріал. Швидка зміна головки кільцевого свердла одного розміру на інший дає можливість свердлити отвори різних діаметрів без значного перенастроювання всієї системи.

Використання кільцевих свердел розглянутої конструкції збільшує продуктивність процесу свердління в 3 рази при збільшенні стійкості інструмента в два рази.

Вертикальне свердління деталей, що не обертаються, на верстатах з висувним шпинделем можливо вести кільцевими свердлами із жорстким центрувальним елементом, притиснутим до оброблюваної деталі нерухомим вузлом верстата (рис. 8). При цьому необхідно, щоб шпиндель, що обертається, вільно проходив у середині центрувального елемента, який установлюється на нерухомій пінолі.

Направлення різальних ножів 1 двоопорним центрувальним елементом 3 забезпечує високу якість центрування. Вихід свердла з оброблюваної деталі не представляє небезпеки для різальних ножів тільки тоді, коли стрижень залишається після свердління притиснутим до столу верстата.

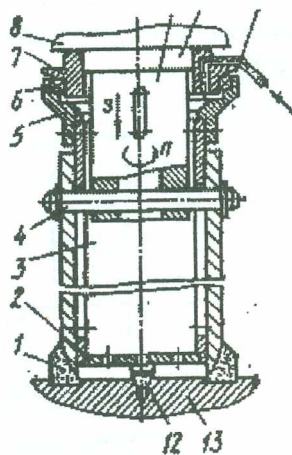


Рис. 8. Кільцеве свердління з жорстким центрувальним елементом

Запропонованим способом можливо свердлити нахилені та вертикальні отвори в площинах, не перпендикулярних осі шпинделя.

Кільцеве свердло можливо використовувати і на токарних верстатах. У цьому випадку із центрувального елемента 3 необхідно зняти опору 5, а замість неї встановити конусний хвостовик. Штифт 4 закріплюється на різцетримачі.

Розглянутий спосіб кільцевого свердління дозволяє виконувати операції попереднього формоутворення циліндричних поверхонь на універсальних верстатах із висувним шпинделем, а також використовувати для цієї цілі більший парк верстатів, на яких така високоефективна технологічна операція використовувалась рідко.

В роботі [4] описано конструкцію кільцевого свердла, призначеного для свердління сталі Х18Н10Т.

Корпус свердла обладнаний взаємозамінними різцями із швидкорізальної сталі чи твердого сплаву. Різці кріпляться штифтами та поділяються на прорізаючі та дорізаючі, що дозволяє працювати із поділенням припуску.

При свердлінні сталі Х18Н10Т в якості ЗОР використовується сульфозфрезол. Підведення ЗОР внутрішнє. Для швидкорізальної сталі параметри загострення різців наступні: $\alpha = 11^\circ$; $\gamma = 15^\circ$; для твердосплавних різців: $\alpha = 8^\circ$; $\gamma = 5^\circ$.

Швидкорізальні різці досліджувалися при $V = 21$ м/хв; $S = 31,5$ мм/об. При цьому стійкість різців зі сталей Р9К5 та Р6Ф2К8М5 не перевищувала 60 хвилин. Свердла із твердосплавними різцями досліджувались при $V = 52$ м/хв; $S = 0,063$ мм/об, при цьому стійкість різців з твердого сплаву ТТ10К8Б досягла 220 хв.

Проведений аналіз свердел для чорнової обробки отворів показує, що при свердлінні отвору кільцевим свердлом і свердлом будь-якої іншої конструкції кільцеве свердло потребує меншої потужності у зв'язку з меншою загальною довжиною різальних кромки. При однаковій потужності різання кільцеві свердла є більш продуктивними. Режими різання при свердлінні кільцевими свердлами несуттєво впливають на точність та шорсткість отриманих отворів. Похибка форми у поперечному перетині отворів не перевищує 0,15 мм.

Для забезпечення підвищеної працездатності кільцевого свердла торцеве та радіальне биття різальних кромки допускається не більше 0,03 мм відносно базової поверхні посадочного конусу.

Найбільш суттєвим недоліком існуючих конструкцій кільцевих свердел є несприятливі умови відведення стружки з зони різання, що обмежує глибину свердління. Кільцеве свердло (рис. 6) не має канавок для виведення стружки, що обмежує глибину свердління, особливо при вертикальному свердлінні. Кільцеве свердло, що зображено на рис. 7, має прямолінійну канавку для видалення стружки і потребує для своєї роботи додатково ще і напрямного люнета. Конструкція пристрою для кільцевого свердління нерухомих деталей (рис. 8) досить складна і не дозволяє швидко перенастроюватися на обробку кільцевим свердлом іншого діаметра.

Проведений огляд існуючих конструкцій кільцевих свердел (рис. 9) показує, що до цього часу немає єдиних рекомендацій щодо найбільш раціональної схеми різання кільцевих свердел

та геометрії їх заточування; також не визначено найбільш раціонального способу з'єднання кільцевого свердла з оправкою з точки зору технологічності, надійності та зручності користування. Аналіз розглянутих конструкцій свердел для високопродуктивної чорнової обробки отворів показує, що найбільш перспективним способом отримання отворів є кільцеве свердління. Із всіх вищезгаданих способів обробки кільцеве свердління навантажує обладнання найменше.

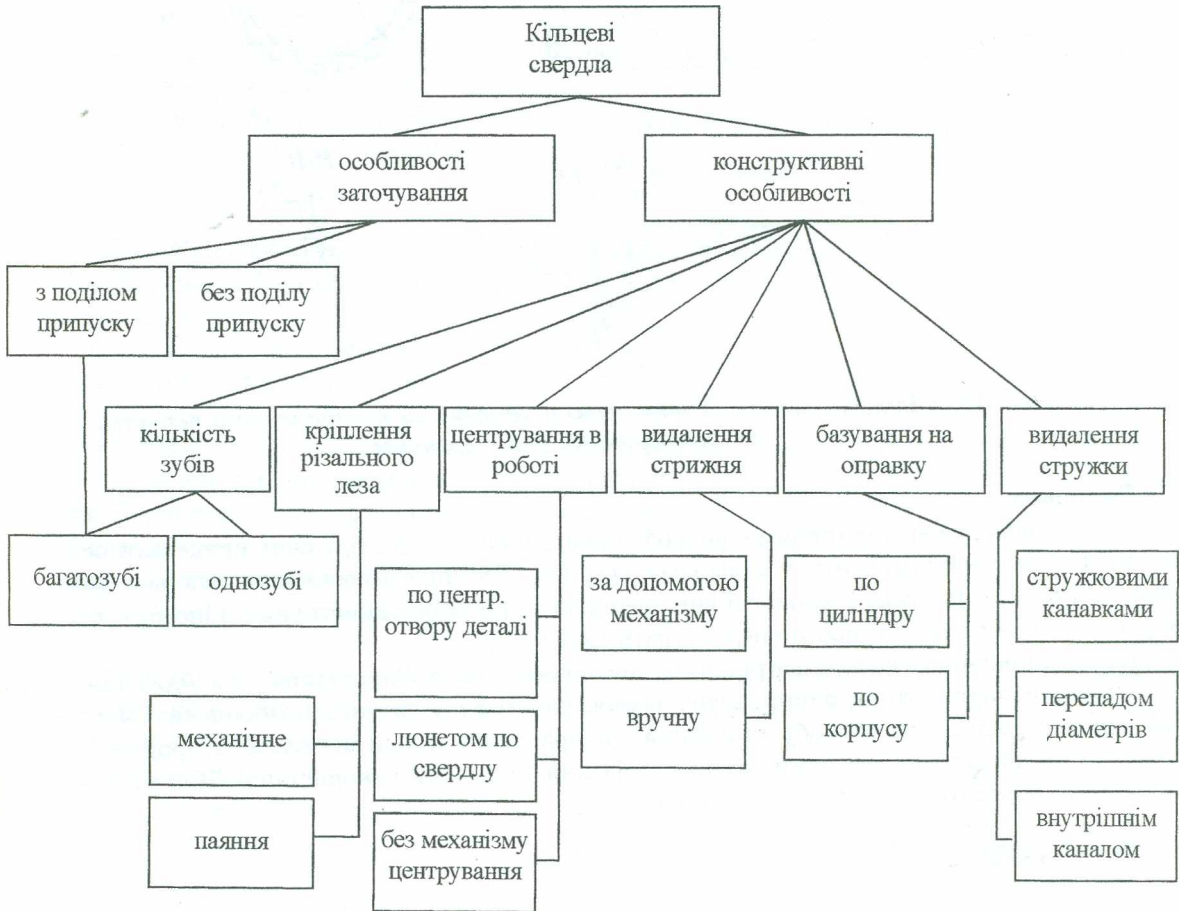


Рис. 9. Класифікація кільцевих свердел

Авторами запропоновано ряд удосконалених конструкцій кільцевих свердел. З метою покращення видалення стружки під час роботи й видалення центрального стрижня було сконструйовано кільцеве свердло з гвинтовими канавками для видалення стружки (рис. 10).

Канавки мали прямокутний переріз і виготовлялися за допомогою пальцевої фрези. Свердло мало діаметр 70 мм і чотири різальних зуби симетричного, відносно центральної лінії по ширині зуба, загострення. Свердло установлювалося на циліндричну оправку діаметром 40 мм і фіксувалося на оправці в осьовому напрямку за допомогою радіального гвинта. Обертаючий момент передавався оправкою за допомогою двох торцевих шпонок. Різальні зуби загострювалися по площинах і симетрично відносно центральної лінії по ширині зубців. Допоміжні кути в плані по зовнішніх і внутрішніх поверхнях загострювалися теж по площинах. З метою зменшення радіального биття по зовнішній поверхні зубців залишалася контрольна стрічка.

Випробування даної конструкції на чавунних деталях показало задовільне видалення стружки із зони різання, але тільки до довжин отворів 40–50 мм. При більшій довжині отвору, що обробляється, стружка видалялася незадовільно. Центральний стрижень після обробки отвору мав Т-видну форму і не провалювався у середину свердла, тому легко видалявся вручну після обробки отвору. Випробування показали, що складання свердла з оправкою з базуванням циліндричного отвору на циліндричну поверхню оправки – це досить кропітка операція.

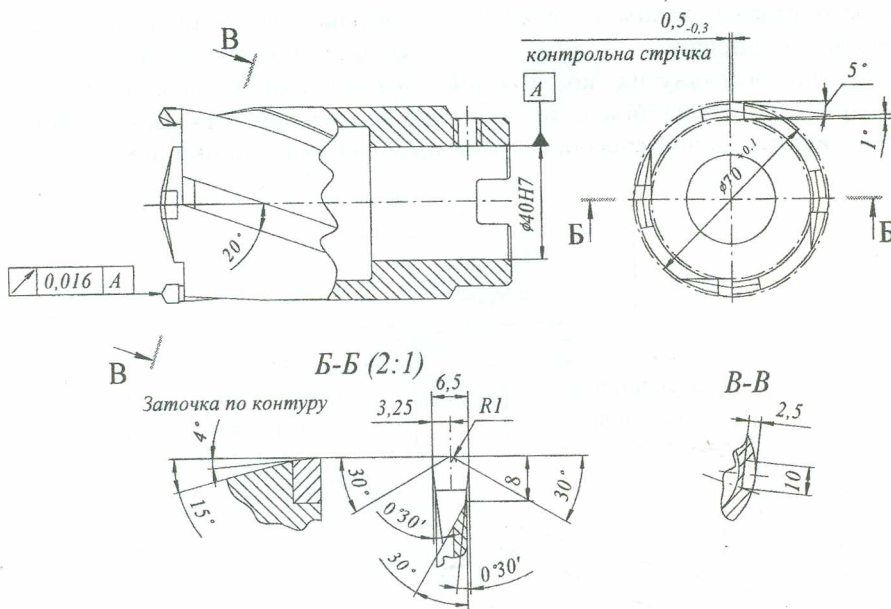


Рис. 10. Кільцеве свердло з гвинтовими канавками прямокутного перерізу та симетричним загостренням

Висновки

В подальшому перспективним є розробка конструкцій та дослідження працездатності нового металообробного інструмента – кільцевих свердел. Для нього необхідно детально розглянути широкий спектр новітніх технологій виготовлення та розробок конструкції в інструментальному виробництві та на основі цього обґрунтувати свій вибір.

При виконанні експериментальних досліджень буде проведено дослідження впливу геометричних параметрів і форми заточування, якості виготовлення розроблених інструментів, зручності та надійності способу базування і направлення кільцевих свердел, форми і глибини канавок для видалення стружки, режимів різання та складу використаної ЗОР на точність та шорсткість поверхонь оброблених отворів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мунасимов Х.М., Павлов А.Н., Старочкин С.В. Трубчатое сверло // Машиностроитель. – 1974. – № 11. – С. 23.
2. Каучальсон В.Е., Ершов Е.В., Мещеряков А.И. Сверление глубоких отверстий на радиально-сверлильных станках // Станки и инструмент. – 1975. – № 7. – С. 37.
3. Виноградов А.А., Гершкович Б.М. Сверло для обработки глубоких отверстий // Машиностроитель. – 1974. – № 11. – С. 3
4. Шерстобатов Г.А., Ивайлов В.М., Аполлонов А.Т. Кольцевое сверление // Машиностроитель. – 1975. – № 1. – С. 44.
5. Левинсон Е.М. Отверстия малых размеров (методы получения). – Ленинград: Машиностроение, 1977.
6. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. – Киев: Вища школа, 1986. – 455 с.
7. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения: Учебник для втузов. – Москва: Высшая школа, 1976.
8. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент / С.А. Рубинштейн, Г.В. Левант, Н.М. Орнис, Ю.С. Тарасевич. – Москва: Машиностроение, 1968. *
9. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент: Учебник для машиностроительных техникумов. – Москва: Машиностроение, 1976.
10. Приспособления и инструменты для токарных работ / В.К. Семинский, П.Т. Вирченко, С.А. Платонов. – Киев: Техніка, 1977.
11. Худобин Л.В., Бердичевский Е.Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в машинообработке. – Москва: Машиностроение, 1977.

12. *Мунасимов Х.М., Павлов А.Н., Старочкин С.В.* Трубчатое сверло // *Машиностроитель.* – 1974. – № 11. – С. 23.
13. *Каучельсон В.Ю., Шевцов Е.В., Мещеряков А.Й.* Сверление глубоких отверстий на радиально-сверлильных станках // *Станки и инструмент.* – 1975. – № 7. – С. 37.
14. *Виноградов А.А., Гершкович Б.М.* Сверла для обработки глубоких отверстий // *Машиностроитель.* – 1975. – № 1. – С. 44.
15. *Шерстобатов Г.А., Ивайлов В.М., Аполлонов А.Т.* Кольцевое сверление // *Машиностроитель.* – 1975. – № 1. – С. 44.
16. *Щербаков О.Н., Едигоров А.С.* Кольцевое сверление на токарных станках // *Машиностроитель.* – 1977. – № 9. – С. 41.
17. *Пестунов В.М.* Повышение устойчивости сверл при глубоком сверлении // *Станки и инструмент.* – 1976. – № 10. – С. 29.

ВИГОВСЬКИЙ Георгій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з організаційно-навчальної роботи Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- проектування різальних інструментів.

ГРОМОВИЙ Олексій Андрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем, заступник декана факультету інженерної механіки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- обробка металів різанням;
- моделювання технологічних процесів.

КОВАЛЬОВ Володимир Володимирович – старший викладач кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія різання.

Подано 15.04.2004